

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI  
(c) 2001 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

010717545    \*\*Image available\*\*  
WPI Acc No: 1996-214500/\*199622\*  
XRAM Acc No: C96-068180  
XRPX Acc No: N96-179925

**Projecting and exposing appts. - comprising projecting laser light to  
expose mask through positive lattice, negative quartz lens and positive  
fluorite lens**

Patent Assignee: NIKON CORP (NIKR )  
Inventor: MATSUMOTO K; USHIDA K  
Number of Countries: 002    Number of Patents: 002  
Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 8078319	A	19960322	JP 94334554	A	19941220	199622    B
US 5754340	A	19980519	US 95496551	A	19950629	199827

Priority Applications (No Type Date): JP 94170376 A 19940630

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 8078319	A	12	H01L-021/027	
US 5754340	A		G02B-005/18	

Abstract (Basic): JP 8078319 A

By radiating a light flux from a light source to a mask, a pattern of the mask is exposed on a substrate through a projecting optical series. The projecting optical series comprises at least one of a lattice optical element, a quartz lens and a fluorite lens. The lattice optical element possesses a positive power, the quartz lens a negative power, and the fluorite lens a positive power. An Ar-F laser is used as the light source.

USE - For decreasing a second spectrum during a chromatic aberration.

Dwg.1/6

Title Terms: PROJECT; EXPOSE; APPARATUS; COMPRISE; PROJECT; LASER; LIGHT;  
EXPOSE; MASK; THROUGH; POSITIVE; LATTICE; NEGATIVE; QUARTZ; LENS;  
POSITIVE; FLUORITE; LENS

Derwent Class: G07; P81; P84; U11

International Patent Class (Main): G02B-005/18; H01L-021/027

International Patent Class (Additional): G02B-013/14; G02B-013/24;  
G02B-027/44; G03F-007/20

File Segment: CPI; EPI; EngPI

Manual Codes (CPI/A-N): G06-E02; G06-G18

Manual Codes (EPI/S-X): U11-C04E1

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-78319

(43) 公開日 平成8年(1996)3月22日

技術表示箇所

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 L 21/027

G 0 2 B 13/24

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/ 30

5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数3 F D (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平6-334554

(22) 出願日 平成6年(1994)12月20日

(31) 優先権主張番号 特願平6-170376

(32) 優先日 平6(1994)6月30日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 牛田 一雄

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(72) 発明者 松本 宏一

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

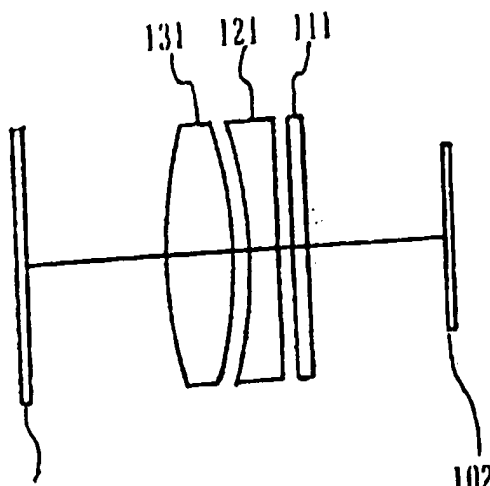
(74) 代理人 弁理士 佐藤 正年 (外1名)

(54) 【発明の名称】 投影露光装置

(57) 【要約】

【目的】 色収差の特に2次スペクトルを低減させると共に、レンズ設計上の制約が少ない投影光学系を具備した投影露光装置を提供すること。

【構成】 光源手段からの光束をマスクに照射することにより投影光学系を介して前記マスクのパターンを感光基板上へ露光する投影露光装置の投影光学系は、回折光学素子と、石英レンズと、螢石レンズとをそれぞれ少なくとも一つ有している。この回折光学素子は正のパワーを有し、螢石



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源手段からの光束をマスクに照射することにより、投影光学系を介して前記マスクのパターンを感光基板上へ露光する投影露光装置において、前記投影光学系は、回折光学素子と、石英レンズと、螢石レンズとをそれぞれ少なくとも一つ有していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 前記回折光学素子の少なくとも一つは正のパワーを有するものであり、前記石英レンズの少なくとも一つは負のパワーを有するものであり、前記螢石レンズの少なくとも一つは正のパワーを有するものであることを特徴とする請求項1に記載した投影露光装置。

【請求項3】 光源手段として、Ar-Fレーザを用いたことを特徴とする請求項1又は2記載の投影露光装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、例えばLSI等の半導体製造装置に用いる微細な回路パターンを基板上に露光する投影露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来から、ICあるいはLSI等の半導体素子や、これに類する液晶素子あるいは薄膜磁気ヘッド等の微細パターンを有する部材等の製造工程においては、所定のパターンの転写露光を伴ういわゆるリソグラフィ工程が応用されている。この工程においては、所定の回路パターン等を有するマスクから投影光学系を介した露光光をシリコンウエハ等の感光基板上に投影することによって、マスク上のパターンをウエハへ転写する。

【0003】このような微細パターンの転写露光に用いられる投影露光装置には、高度な解像力（分解能）が要求されるが、このような光学系の分解能には使用する光源光束の波長が関連するため、光源光束の短波長化が進んでいる。現段階では、いわゆるエキシマレーザであるKr-Fレーザ（248nm）やAr-Fレーザ（193nm）等の紫外（又は深紫外）の波長域の光束が実際に使用されている。

【0004】しかし、いわゆる半導体集積回路では、従来のICやLSIから近年のVLSIやULSI等への移行にみられるように、更なる高集積化が進んでおり、それに伴って要求される解像力も更に高度になってきている。このため、従来より更に短波長の光束を用いる等の手段により、これらの高集積化の要請に対処する必要性が生じており、F<sub>2</sub>レーザ（157nm）やX線等の利用化が研究されている。

【0005】以上のように、高集積化の要請に対処する一つの方法として、光源光束の短波長化が挙げられるが、同時に光学系自体の精度の向上のためには、適正な収差補正を行なうことも重要な点である。特に、色収差

光学系に起因するものがある。理想的に光源光束のスペクトル幅がゼロ（単一波長の光束）であれば、色収差は発生しないが、これは不可能である。しかし、それに近づくために様々な方法によってスペクトル幅の狭帯化技術の向上が図られている。

【0006】例えば、Kr-Fレーザ（248nm）のスペクトル幅は、通常0.3nm程度（FWHM：半値全幅）であるが、レーザの共振器内にプリズム、回折格子、エタロンなどの波長選択素子を配置することにより、1.0～1.5pm（FWHM）程度のスペクトル幅を持つ狭帯化エキシマレーザが開発されている（Optical and Quantum Electronics Vol. 25 (1993) p. 297～310）。これにより、色収差の影響を極力排している。

【0007】一方、短波長光源に対する投影光学系を従来の屈折レンズで構成すると、屈折率や透過率などの問題から十分な結像特性が得られないという問題がある。つまり、従来の透過屈折型の光学素子や補正手段のみでは、短波長化による更なる高集積化の要請には充分に応じられないのが実状である。

【0008】また、反射部材を用いた投影光学系も実用化されているが、球面鏡等の反射特性の問題から、微細パターン転写に有効な縮小型の投影光学系の構築が極めて難しく、実用的な光学系が構築できない問題があった。

【0009】通常のKr-Fレーザ（248nm）を光源として用いる場合、前述した様にスペクトル幅が0.3nm程度であるため、このスペクトル幅に対しては投影光学系による色収差を補正する必要があり、投影光学系は少なくとも分散の異なる2種以上光学材料が必要である。

【0010】ところで、Kr-Fレーザなどのエキシマレーザ光は波長が非常に短い（深紫外域）ので、レンズの硝材として通常のガラスを用いると透過率が不足してしまうため、この種の光学材料を投影光学系に用いる場合には十分な露光強度が得られないばかりか、透過しない光量が光学材料に吸収され、熱変動を引き起こすという問題があるので、投影光学系の硝材として使用することはできない。

【0011】従って、光源としてこの様な深紫外域のエキシマレーザ光等を使用する場合には、透過率の観点から、レンズ等の硝材として使用できる材料は、石英（SiO<sub>2</sub>）と螢石（CaF<sub>2</sub>）にほとんど限定されてしまう。そのため、石英と螢石の2種類の光学材料による色収差補正光学系（投影光学系）が検討された。この辺の経緯については、例えば、安西暁「色消しレンズにあって挑戦 現状のレーザでも光学系が組める（日経マイクロデバイス、1987年2月号、103～112頁）」に詳しい。

【0012】一方、前述のような1.0～1.5pm

3  
(FWHM) 程度のスペクトル幅を持つ狭帯化エキシマレーザ (Kr-F) を光源とする場合の投影光学系は、石英のみを使用した単色レンズで構成され、これが現行のエキシマ投影光学系の代表的な構成となっている。このような単色レンズでは色収差を補正することはできず、上記程度のかかなり狭いスペクトル幅であっても、投影光学系の焦点距離の0.11~0.165%程度が、色収差に起因して光軸方向の像のボケが生じる。(詳細は後述する。)

10 【0013】ところで、近年、光学素子としていわゆる回折光学素子が注目されている。回折光学素子は、回折作用を利用して光路の偏向を行なわせる光学素子である。この回折光学素子によれば、短波長の光束の光路を任意に偏向させることも可能である。更に、いわゆる屈折レンズとは異なる波長一偏向特性を示すことから、屈折レンズとの組合せによる新たな収差補正手段等が注目されている。

20 【0014】回折光学素子としては、例えばフレネルゾーンプレート等が良く知られているが、一般的なフレネルゾーンプレートは光透過性の基板上に同心円状の透光部材を設けた構造のものであり、透過領域からの光束の回折作用を利用して所定位置に光束を集光させるものが一般的である。

30 【0015】ゾーンプレートを含む回折光学素子の構造は、上記のような透過部と透光部によるもののみではなく、透過特性(屈折率、透過距離等)が異なる領域を段階的に設けたものや、基板内部に屈折率分布による透過特性の異なる部分を設けたもの等が知られている。前者の代表的なものは、いわゆるバイナリーオプティカルエレメント(BOE)であり後者の代表的なものは、い

40 るホログラムオプティカルエレメント(HOE)である。  
【0016】BOEは、リソグラフィの工程を利用して光透過性部材に階段状の表面形状を形成し(反射部材の表面に形成しても良い)、透過距離を部分的に異ならしめることにより回折作用を生じさせるものである。BOEは、その製造方法から微細な任意のパターンを高精度でかつ自由に構築できる利点があり、その応用分野が特に注目されている。(写真工業、1994年、3月号94頁)

【0017】これらのBOE等の高度な回折光学素子によれば、生じさせる回折光も従来よく知られた一点への集束作用を有するもののみならず、任意の光波面を所望の光波面に变换すること、光散乱機能を有すること、光集束機能と光束分離機能等を複合させること等の自由な回折作用を生じさせることが可能である。

50 【0018】さらに、BOEは薄くて軽量であり、量産が容易であること、製造が容易で高い回折作用が得られること、光利用率が高いこと、深紫外領域の光束でも光路の偏向が可能であること等から、投影光学系の光学部

材としての応用が研究されている。

【0019】ここで、特開平4-214516号には、投影光学系(投影レンズ系)の収差補正用部材としてフレネルレンズを応用したものが開示されている。この従来例では、従来から良く知られた構造のフレネルレンズ(同心円状の溝により構成された球面又は非球面のレンズ面を持つもの)を使用しており、投影光学系を構成するレンズの部材としては石英のみが選択されている。また、使用する光源光束は、現在一般的に使用されているKr-Fレーザ(248nm)やAr-Fレーザ(193nm)を対象としている。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】前述の従来例のように、エキシマレーザ光を光源として使用する場合の投影露光装置の投影光学系において検討された色収差補正光学系(投影光学系)は、石英と螢石、あるいは石英とフレネルレンズの2種光学材料による構成、または石英のみの単レンズによって構成されてきた。

【0021】しかしながら、石英と螢石による色収差補正光学系の場合、周知のように、石英と螢石の分散(又はアッペ数)が大きくは違わないので、色収差を補正するためには、螢石レンズに大きな正のパワーを持たせ、石英レンズに大きな負のパワーを持たせる必要があった。

【0022】図2は、石英レンズと螢石レンズの組合せによる色収差補正光学系の概念的な構成図である。図2においては、フォトマスク201のパターンを感光基板202上に投影するための光学系として、大きな正パワーを有している螢石レンズ232と、大きな負パワーを有している石英レンズ222とを組み合わせ、色収差補正を達成している。

【0023】この構成の投影光学系により、Ar-Fレーザ(193nm)を用い、256Mbit DRAMに要求される0.2μm程度の解像度を数mm角程度のフィールドに再現することは可能である。しかし、露光フィールドとして実用的な20mm角程度を確保しようとすると解像度が達成できなくなってしまう。

【0024】このことは、屈折レンズの大きなパワーにより、レンズ表面の小さな曲率半径を必要とすることから、レンズの口径におのずと限界が生じてしまうことに起因している。これは、この構成での投影光学系のNA(開口数)やフィールド(投影領域)に限界があることを示すものである。

【0025】これらのことは、更なる解像度の向上のための大NA化や、液晶等の大型素子の転写露光に必要な大フィールド化といった仕様向上の要求に対し、光学設計上での大きな障害となっていた。更に、小さな曲率半径のレンズ表面を形成する場合には、レンズエレメントの偏心公差が厳しくなるので、レンズ組立が極めて難しく、これらが石英レンズと螢石レンズにて投影光学系を

構成する上での難点にもなっていた。

【0026】次に、前述した従来例の1. 0~1. 5  $\mu\text{m}$  (FWHM) 程度のスペクトル幅を持つ狭帯化エキシマレーザ (Kr-F) を光源とする場合の投影光学系としては、一般に石英レンズのみを使用した単色レンズで構成される。しかしながら、このような単色レンズでは色収差を補正することはできないため、レーザのスペクトル幅の狭帯化を前提として、初めて使用することができる。

【0027】しかし、短波長化エキシマレーザとして Ar-Fエキシマレーザを光源とし、投影光学系を石英のみの単色レンズで構成する場合、スペクトル幅に起因する色収差の発生は、Kr-Fエキシマレーザの場合のおよそ2. 6倍になる。従って、Kr-Fエキシマレーザの場合と同程度の色収差で使用するならば、Ar-Fエキシマレーザのスペクトル幅をKr-Fエキシマレーザの場合のおよそ2. 6分の1にしなければならぬ。このような狭帯化は、レーザ共振器を構成する光学部材の耐久性等を考慮すると、極めて困難である。

【0028】このような状況下で提案されたのが、例えば、特開平4-214516に開示されているようなフレネルレンズを含む投影光学系である。フレネルレンズは、屈折レンズと逆分散を有しているために、例えばこのフレネルレンズに正のパワーを持たせることで、光学ガラスによる通常の屈折レンズに弱い正のパワーを持たせたまま色収差の補正が可能である。

$$\delta f \approx 1/2 \cdot (\partial^2 f / \partial \lambda^2) \cdot (\delta \lambda / 2)^2$$

… (1) 式

【0033】ここで、図4を用いてスペクトル幅と色収差の関係を説明する。図4は、横軸に光源光束の波長  $\lambda$  をとり、2次スペクトルに基づく色収差  $\delta f / f$  の大きさ (絶対値) を縦軸に取ったものである。通常、光源 (中心) 波長  $\lambda_0$  で光学設計がなされていることから、波長  $\lambda_0$  での色収差はゼロであるが、図中に実線あるいは点線で示す様に、波長  $\lambda_0$  の近傍の波長 ( $\delta \lambda$  の範囲内) においては、まだ色収差が残留していることがわかる。

【0034】実線と破線では、波長  $\lambda_0$  の近傍における2次スペクトルが異なっている場合を示している。光源としてエキシマレーザを用いても、ある程度のスペクトル幅  $\delta \lambda$  を有しているために、この2次スペクトルの大小が結像性能の優劣を決める要因となってしまうのである。

【0035】そこで本発明は、回折光学素子を用いる投影光学系のメリットを維持しつつ色収差の2次スペクトルが小さくなる構成の投影光学系を具備した投影露光装置を提案することを目的とする。

【0036】

【課題を解決するための手段】 上記目的達成のため本願請求項1に記載した発明では、光源手段からの光束をマ

\* 【0029】この投影光学系の概念構成図を図3に示す。図3において、フォトマスク301のパターンを感光基板302の上に投影するための光学系は、石英レンズ323と回折光学素子313にて構成されている。このような構成とすると、回折光学素子313と石英レンズ323とが共に正のパワーを持つが、互いに逆分散を示すので相互で色収差が補正される方向となる。

【0030】このため、図2に示した従来技術の構成と比較して、石英レンズ323の持つパワーの絶対値を小さくすることができる。このことは、曲率半径を大きくできることを意味し、光学設計上は大NA化、大フィールド化等の仕様向上の余裕が生まれることとなる。また、製造上も偏心公差がゆるくなり、製造容易性を高めることとなる。

【0031】しかしながら、このような光学系の構成では色収差の2次スペクトルが大きいうという難点がある。ここで、2次スペクトルとは、通常の色収差が補正されている ( $\partial f / \partial \lambda = 0$  が成り立つ) という前提のもとで、今注目している波長 (光源波長) の近傍の波長において残留している色収差量のことである。即ち、光学系の焦点距離  $f$  の2次スペクトルに基づく光軸方向のボケ  $\delta f$  は、焦点距離  $f$  の波長  $\lambda$  に関する2回微分を用いて次の式 (1) で表すことができる。なお、 $\delta \lambda$  は、光源のスペクトル幅 (FWHM) を表している。

【0032】

スクに照射することにより投影光学系を介して前記マスクのパターンを感光基板上へ露光する投影露光装置において、前記投影光学系が、回折光学素子と、石英レンズと、螢石レンズとをそれぞれ少なくとも一つ有している投影露光装置を提供する。

【0037】請求項2に記載した発明は、請求項1に記載した投影露光装置であって、前記回折光学素子の少なくとも一つは正のパワーを有するものであり、前記石英レンズの少なくとも一つは負のパワーを有するものであり、前記螢石レンズの少なくとも一つは正のパワーを有するものであることを特徴とするものである。

【0038】請求項3に記載した発明は、請求項1又は2に記載に記載した投影露光装置であって、光源手段として、Ar-Fレーザ (中心波長193nm) を用いたことを特徴とするものである。

【0039】

【作用】 請求項1に記載した発明は、光源手段からの光束をマスクに照射することにより投影光学系を介してマスクのパターンを感光基板上へ露光する投影露光装置に搭載される投影光学系が、回折光学素子と、石英レンズと、螢石レンズとをそれぞれ少なくとも一つ有していることを特徴としているが、回折光学素子は回折作用で光

路を偏向するものであり、屈折レンズとは逆分散を持つものである。

【0040】このため、本発明ではこの回折光学素子を屈折レンズである石英レンズや螢石レンズと組み合わせることで、互いに異なる分散をもつ光学素子を利用して色収差の補正を行なうものであり、特に、これらを組み合わせて、色収差の2次スペクトルの小さい結像特性を有する投影露光装置を実現している。

【0041】まず、回折光学素子の屈折レンズに対する逆分散の特性について説明する。この種の回折光学素子を含む通常の屈折系及び反射系を考える際に、回折光学素子は、厚さが無限小、且つ屈折率が無限大の屈折レン\*

$$(n-1) \cdot (dt/ds) = \sin \theta_1 - \sin \theta_2$$

… (2) 式

【0044】一方、光の回折より与えられる式は、 $m$ を回折次数、 $\lambda$ を波長、 $p$ を格子のピッチとする時、次の※

$$m \cdot \lambda / p = \sin \theta_1 - \sin \theta_2$$

… (3) 式

【0046】式(2)と(3)より、次の式(4)を得る。

$$m \cdot \lambda / p = (n-1) \cdot (dt/ds)$$

… (4) 式

【0048】ここで、式(4)の $\lambda$ に関する対数微分(両辺の対数を取って $\lambda$ について微分する)を取れば、次の微分方程式(5)が得られ、その解は次の式(6)☆

$$\partial n / \partial \lambda = (n-1) / \lambda$$

… (5) 式

【0050】

$$n(\lambda) = 1 + ((n_0 - 1) / \lambda_0) \cdot \lambda$$

… (6) 式

【0051】ここで、 $\lambda_0$ は基準波長、 $n_0$ は基準波長における屈折率である。前提として、屈折率 $n \rightarrow \infty$ のレンズを想定していたので、実務的には $n_0$ としては十分な大きな正の数設定される。

【0052】式(5)より、屈折率 $n \rightarrow \infty$ のレンズである回折光学素子では、屈折率の分散 $\partial n / \partial \lambda$ は正の値となる。周知の様に、通常の光学ガラスでは、 $\partial n / \partial \lambda$ は負の値なので、これが回折光学素子が逆分散を有しているといわれるゆえんである。

【0053】次に、回折光学素子のもつ逆分散と、石英、螢石の互いに異なる(正)分散を組み合わせた投影◆

$$1/f = (n_q - 1) \cdot C_q + (n_c - 1) \cdot C_c + (n_0 - 1) \cdot C_0$$

… (7) 式

【0056】今注目している波長(光源波長) $\lambda$ に関して、色収差が補正されているためには、式(6)を波長 $\lambda$ に関して微分した式がゼロになる、即ち、次の条件

$$\begin{aligned} & -1/f^2 \cdot (\partial f / \partial \lambda) \\ & = C_q \cdot (\partial n_q / \partial \lambda) + C_c \cdot (\partial n_c / \partial \lambda) + C_0 \cdot (\partial n_0 / \partial \lambda) \\ & = 0 \end{aligned}$$

… (8) 式

ズに置き換えて(これと同様に)考えることが可能である。詳細は、W. C. Sweatt の論文(J. Opt. Soc. Am. vol. 69, No. 3, p. 486 (1979))に論じられている。

【0042】この論文によれば回折光学素子をレンズとみなす時、このレンズに入射する光線の入射角 $\theta_1$ 、射出角 $\theta_2$ 、光軸方向の座標を $t$ 、レンズの表面に沿った方向の座標を $s$ とすると、レンズの屈折率 $n \rightarrow \infty$ 、厚さ $t \rightarrow 0$ の極限において、光線の振る舞いを表す光線追跡式は、次の式(2)のようになる。

【0043】

※式(3)のようになる。

【0045】

★【0047】

★20

☆に示されるものとなる。

【0049】

◆光学系の作用について説明する。考察を容易にするために、薄肉密着系にて考える。以下において、石英、螢石、回折光学素子の屈折率を各々 $n_q$ 、 $n_c$ 、 $n_0$ 、合成曲率(total curvature)を各々 $C_q$ 、 $C_c$ 、 $C_0$ と表すことにする。

【0054】投影光学系が各々一つの石英レンズ、螢石レンズ、回折光学素子で構成されているとすると、全系の焦点距離 $f$ の逆数 $1/f$ 、パワーは、次の式(7)で表すことができる。

【0055】

式(8)が成り立つ必要がある。

【0057】

【0058】波長 $\lambda_0$ において条件式(8)を満足し、一次の色収差が補正されていても、光源はある程度のスペクトル幅( $\delta\lambda$ :FWHM)を有しているために、波長 $\lambda_0$ 近傍の波長( $\lambda_0 \pm \delta\lambda/2$ )においては、色収差が残留してしまう。この色収差残留量(2次スペクトルと呼ぶ)は、やはり結像性能の優劣を決める重要な要因となるため無視することはできず、十分に評価すること\*

$$\begin{aligned} & -1/f^2 \cdot (\partial^2 f / \partial \lambda^2) \\ & = C_0 \cdot (\partial^2 n_0 / \partial \lambda^2) + C_c \cdot (\partial^2 n_c / \partial \lambda^2) \\ & \quad + C_b \cdot (\partial^2 n_b / \partial \lambda^2) \end{aligned}$$

…(9)式

【0061】ここで、石英レンズ、螢石レンズ、回折光学素子の焦点距離 $f_0$ 、 $f_c$ 、 $f_b$ は、各屈折率 $n_0$ 、 $n_c$ 、 $n_b$ 、および各合成曲率 $C_0$ 、 $C_c$ 、 $C_b$ と、次の各式(10)～(12)により関係づけられる。

【0062】

$$1/f_0 = (n_0 - 1) \cdot C_0$$

…(10)式 ※

$$1/f = 1/f_0 + 1/f_c + 1/f_b$$

…(13)式

【0065】

$$\begin{aligned} & -1/f^2 \cdot (\partial f / \partial \lambda) \\ & = 1/(f_0 \cdot (n_0 - 1)) \cdot (\partial n_0 / \partial \lambda) \\ & \quad + 1/(f_c \cdot (n_c - 1)) \cdot (\partial n_c / \partial \lambda) \\ & \quad + 1/(f_b \cdot (n_b - 1)) \cdot (\partial n_b / \partial \lambda) \\ & = 0 \end{aligned}$$

…(14)式

【0066】

$$\begin{aligned} & -1/f^2 \cdot (\partial^2 f / \partial \lambda^2) \\ & = 1/(f_0 \cdot (n_0 - 1)) \cdot (\partial^2 n_0 / \partial \lambda^2) \\ & \quad + 1/(f_c \cdot (n_c - 1)) \cdot (\partial^2 n_c / \partial \lambda^2) \\ & \quad + 1/(f_b \cdot (n_b - 1)) \cdot (\partial^2 n_b / \partial \lambda^2) \end{aligned}$$

…(15)式

【0067】ここで、石英レンズ、螢石レンズ並びに回折光学素子の各々の屈折率の波長依存性 $n(\lambda)$ は、既知の量であるから、式(14)における屈折率の波長に関する一回微分量 $\partial n / \partial \lambda$ と、式(15)における屈折率の波長に関する二回微分量 $\partial^2 n / \partial \lambda^2$ を各々求めることができる。従って、式(13)～(15)における未知数は、 $1/f_0$ 、 $1/f_c$ 、 $1/f_b$ の3つだ★

$$(1/(n_b - 1)) \cdot (\partial n_b / \partial \lambda) = 1/\lambda$$

…(16)式

$$\partial^2 n_b / \partial \lambda^2 = 0$$

…(17)式

【0070】石英の屈折率 $n_0$ の波長 $\lambda$ 依存性は、I. H. Malitsonの論文(J. Opt. Soc. A m. vol. 55, No. 10, p. 1205 (1966)★

$$n_0^2 - 1$$

$$= 0.6961663 \cdot \lambda^2 / (\lambda^2 - (0.0684043)^2)$$

$$+ 0.4079426 \cdot \lambda^2 / (\lambda^2 - (0.1162414)^2)$$

$$+ 0.8974794 \cdot \lambda^2 / (\lambda^2 - (9.896161)^2)$$

…(18)式

【0072】また、螢石の屈折率 $n_c$ の波長 $\lambda$ 依存性は、I. H. Malitsonの論文( Appl. Op

\*とが必要である。

【0059】この2次スペクトルは、式(7)を波長 $\lambda$ に関して2回微分した量に対応するので、式(8)に関して更なる波長微分を考えればよい。結果は、次の式(9)となる。

【0060】

$$1/f_c = (n_c - 1) \cdot C_c$$

…(11)式

$$1/f_b = (n_b - 1) \cdot C_b$$

…(12)式

【0063】式(10)～(12)を、式(7)～(9)に代入すると、以下の式(13)～(15)を得る。

【0064】

★けとなる。

【0068】回折光学素子の屈折率の波長依存性 $n(\lambda)$ は、前述の式(6)で表現される。式(6)を波長 $\lambda$ で微分することにより、次の式(16)、式(17)を得る。

【0069】

★5)より、次の式(18)を引用した。

【0071】

t. vol. 2, No. 10, p. 1103 (196

3))より、次の式(19)を引用した。なお、式(1

11

12

8) と式 (19) に現れる波長 $\lambda$ の単位は $\mu\text{m}$ である。 \* [0073]

$$\begin{aligned} n_c^2 - 1 \\ = 0.5675888 \cdot \lambda^2 / (\lambda^2 - (0.050263605)^2) \\ + 0.4710914 \cdot \lambda^2 / (\lambda^2 - (0.1003909)^2) \\ + 3.8484723 \cdot \lambda^2 / (\lambda^2 - (34.649040)^2) \end{aligned}$$

… (19) 式

【0074】式 (16) と、式 (18) 及び式 (19) より得られる石英の屈折率 $n_o$ 及び螢石の屈折率 $n_c$ の波長に関する一回微分量を、式 (14) に代入すれば、式 (13) と式 (14) からなる連立方程式の各係数が全て定まることになる。ここで、未知数は $1/f_o$ 、 $1/f_c$ 、 $1/f_s$ の3つであり、自由度が一つ残ることになる。この自由度を変数として取り扱えば、式 (15) にて表される2次スペクトル量を評価することができる。このようにして、石英レンズ、螢石レンズ、回折光学素子の焦点距離 $f_o$ 、 $f_c$ 、 $f_s$ についての検討ができることになる訳である。

【0075】例えば、回折光学素子に関する $1/f_s$ を変数として取り扱い、2次スペクトルを評価した結果、以下のことが見出された。(具体的な事例は、実施例の中で述べる。)

【0076】2次スペクトル量は、従来例の投影光学系のように、石英レンズと回折光学素子の二つの構成要素で構成する(螢石レンズにはパワーを持たせない： $f_c = \infty$ )よりも、本発明のように、螢石レンズにもパワーを持たせる( $f_c \neq \infty$ )ことによって、石英レンズ、螢石レンズ、回折光学素子の三種の組み合わせによる構成要素の方が、低減させることができる。即ち、光源の波長 $\lambda$ 、近傍の波長(波長帯の中心波長以外の波長)における色収差をも良好に補正することができ、優れた投影光学系を構成し得る。

【0077】請求項2に記載した発明では、請求項1の投影露光装置において、投影光学系を構成する回折光学素子の少なくとも一つは正のパワーを有するものであり、石英レンズの少なくとも一つは負のパワーを有するものであり、螢石レンズの少なくとも一つは正のパワーを有するものであることを特徴とし、以下の作用を奏する。

【0078】なお、本明細書において回折光学素子における正のパワーとは、回折光学素子による偏向作用を屈折レンズに対応させて表現したものであり、素子により光路を偏向された光束が集光方向に進行する様に回折作用が機能するものを言う。逆に、回折光学素子の負のパワーとは、発散方向に光路を偏向させる作用を持つものをいう。

【0079】前述のように、回折光学素子に関する $1/f_s$ を変数として取り扱い、三種の構成要素の各焦点距離 $f_o$ 、 $f_c$ 、 $f_s$ の各組み合わせに対して2次スペクトルを評価した。

【0080】その結果、2次スペクトルを完全にゼロに

するような組み合わせも可能であるが、この場合には、石英レンズ及び螢石レンズの各レンズパワーが大きくなるため、レンズの口径におのずと限界が生じてしまう難点があり、更に、レンズパワーが大きいと製造が難しいという問題もある。

【0081】このため、実務的には、二次スペクトルが実用範囲内に小さくなり、レンズパワーの小さい組み合わせとして、 $f_o < 0$  (マイナス)、 $f_c > 0$  (プラス)、 $f_s > 0$  (プラス)となるのが望ましい構成であることが見出された。

【0082】言い換えると、回折光学素子が正のパワー(集束特性)を有し、石英レンズが負のパワーを有し、螢石レンズが正のパワーを有するものであることを意味するものであり、少なくともこれらの組み合わせ一組を光学系に備えることで、二次スペクトルが良好に補正できる実用的な投影光学系が構築できる。

【0083】従って、このような範囲内の組み合わせで構成される投影光学系は、光源の波長 $\lambda$ 、近傍の波長における色収差(二次スペクトル)を実用上問題の無い程度に補正することができるだけでなく、レンズのパワーが比較的小さなものを使用できるので、光学素子(レンズ)の製造も容易となる。更に、レンズパワーが小さければレンズ口径が大きなものを使用できるので、投影光学系のNA(開口数)やフィールド(投影領域)の拡大が可能と成り、即ち、解像度(分解能)の向上に寄与するものとなる。

【0084】請求項3に記載した発明は、請求項1又は2の投影露光装置において、光源手段として、Ar-Fレーザ(中心波長193nm)を用いたことを特徴とし、以下の作用を奏する。

【0085】Ar-Fレーザ(193nm)は、現在最も一般的に用いられているエキシマレーザ光源であるKr-Fレーザ(248nm)よりも、更に短波長の光源であり、投影光学系の更なる高分解能化の要請に対処するための光源として期待されているものである。しかし、光源の短波長化が進められると、同じ波長幅(スペクトル幅)でも、二次スペクトル量が大幅に増加する。このため、このような短波長の光束を用いる投影光学系においては、2次スペクトル量の補正が更に重要性を増すことになる。特に、Ar-Fレーザのスペクトル幅はかなり大きい。

【0086】本発明は、前述の石英レンズ、螢石レンズ、回折光学素子の三種の構成要素による投影光学系に対して、Ar-Fレーザを用いたものであり、光源のス



ベクトル幅は大きくても2次スペクトルの発生量を低減させることによって、実用的な色収差補正が可能となった。更に、前記同様に色収差補正が良好に行なわれる構成において、各々のレンズパワーの絶対値を小さくすることができる。従って、解像力の向上した投影露光装置を組むことができる。

【0087】なお、透過屈折光学素子（レンズ等）の屈折性や透過率の問題から、現在光源として利用できる光源手段の内、屈折レンズを利用した投影光学系に使用できる光源はAr-Fレーザがほぼ限界であり、更なる短波長の光源としてF<sub>2</sub>レーザ（157nm）等が知られているが、これらでは透過屈折型の投影光学系は使用できない。

【0088】また、Kr-Fレーザ（248nm）においては、レーザの狭帯化により従来の石英レンズのみにて構成される投影光学系が使用できる様になったが、更に短波長のAr-Fレーザ（193nm）においては、レーザの狭帯化の見通しは必ずしも明るくなく、実用化に至っていない問題があった。しかし、本発明によれば、Ar-Fレーザを用いた投影光学系が構築できるので、これを備えた投影露光装置によれば、従来より微細なパターン露光転写が可能となり、更なる光集積半導体素子等の製造が可能となる。

【0089】

【実施例】以下に、実施例を通じ、本発明を更に詳しく説明する。図1は、本発明の第1の実施例として、Ar\*

$$\begin{aligned} n_0 &= 1.560769 & \dots (20) \text{式} \\ n_c &= 1.501532 & \dots (21) \text{式} \\ \partial n_0 / \partial \lambda &= -1.5906 & \dots (22) \text{式} \\ \partial n_c / \partial \lambda &= -0.97993 & \dots (23) \text{式} \\ \partial^2 n_0 / \partial \lambda^2 &= 184.41 & \dots (24) \text{式} \\ \partial^2 n_c / \partial \lambda^2 &= 106.73 & \dots (25) \text{式} \end{aligned}$$

【0093】上記の数値を用いて、式（13）と式（14）を連立させ、本実施例の装置における2次スペクトル（式（15））を、以下に評価する。このとき、回折光学素子のパワー $1/f_0$ を変数として取り扱う。

【0094】図5は、横軸を回折光学素子のパワーに取り、それに対する石英レンズパワー（ $1/f_0$ ）と螢石レンズのパワー（ $1/f_c$ ）を左側の縦軸、2次スペクトル量（ $-1/f \cdot (\partial^2 f / \partial \lambda^2)$ ）を右側の縦軸にプロットしたものである。ここでは、投影光学系のパワー（ $1/f$ ）が1になるように正規化した。

【0095】図5を概観すれば、回折光学素子のパワーをゼロにした光学系の組み合わせ（ $1/f_0 = 0$ のとき）から、少しずつ回折光学素子に正のパワーを与えた※

$$1/f_0 = 0 \quad \dots (26) \text{式}$$

$$1/f_0 = -2.214 \quad \dots (27) \text{式}$$

$$1/f_c = 3.214 \quad \dots (28) \text{式}$$

$$(-1/f) \cdot (\partial^2 f / \partial \lambda^2) = -0.441 \times 10^3 \quad \dots (29) \text{式}$$

【0098】これらの数値により以下のことがわかる。

—Fエキシマレーザ（ $\lambda = 193 \text{ nm}$ ）を光源とする投影露光装置の投影光学系を示す概念図である。この図における投影光学系は、回折光学素子111、石英レンズ121並びに螢石レンズ131の三種の構成要素からなるものである。Ar-Fエキシマレーザ（不図示）からの露光光は、フォトマスク101と上記の投影光学系を介して感光基板102上に投影され、装置全体としてはマスク上のパターンを感光基板上に転写露光するものである。

【0090】投影光学系の作用については、作用の項で前述したものと同様であり、投影光学系のパワー（焦点距離の逆数）と各構成要素のパワーとの関係は、式（13）、色収差の補正条件は式（14）、2次スペクトル量は式（15）で与えられている。これらの式において、未知数は石英レンズのパワー $1/f_0$ 、螢石レンズのパワー $1/f_c$ 、回折光学素子のパワー $1/f_0$ の3つであり、各係数は露光光の波長をパラメーターとして定められるものである。

【0091】本実施例においては、露光光としてAr-Fエキシマレーザを用いるため、波長 $\lambda = 0.193 \mu\text{m}$ において、前述の式（18）、式（19）を用いて求めることができる。波長 $\lambda = 193 \text{ nm}$ における、石英と螢石の屈折率、及びそれらの波長微分量は、以下の様になる。

【0092】

※組み合わせとするとに従って、負のパワーを持つ石英レンズ及び正のパワーを持つ螢石レンズのパワーの絶対値は少しずつ小さくなることがわかる。一方、それと同時に、2次スペクトルは初め負から正に変化し、後は単調に増加していくことがわかる。

【0096】まず、図5において、 $1/f_0 = 0$ の場合は、回折光学素子を平行平板と等価であると見なす場合に相当しており、従来技術の一つである石英レンズと螢石レンズのみによる色収差補正光学系に対応するものである。このとき、石英レンズのパワー、螢石レンズのパワー、及び2次スペクトル量の各量に対して、次の数値が得られる。

【0097】

$$1/f_0 = 0 \quad \dots (26) \text{式}$$

$$1/f_0 = -2.214 \quad \dots (27) \text{式}$$

$$1/f_c = 3.214 \quad \dots (28) \text{式}$$

$$(-1/f) \cdot (\partial^2 f / \partial \lambda^2) = -0.441 \times 10^3 \quad \dots (29) \text{式}$$

まず、従来の（回折光学素子の無い）色収差補正光学系

15

でも、2次スペクトル量を比較的小さい値に抑えることができる。しかし、石英レンズと螢石レンズのパワーの絶対値が大きく、レンズ表面の小さな曲率が必要とされる。従って、レンズ素子の偏心公差が厳しくなり、レンズの組立製造も難しい。さらに、レンズ径が小さくなるので、大きなフィールドが得られない問題もある。

【0099】一方、別の従来技術の一つである石英レン\*

$$1/f_0 = 0.354 \quad \dots (30) \text{ 式}$$

$$1/f_1 = 0.646 \quad \dots (31) \text{ 式}$$

$$1/f_c = 0 \quad \dots (32) \text{ 式}$$

$$(-1/f) \cdot (\partial^2 f / \partial \lambda^2) = 2.13 \times 10^2 \quad \dots (33) \text{ 式}$$

【0101】この従来例の色収差補正光学系では、先の石英レンズと螢石レンズによる光学系の場合と比較して、それぞれのレンズパワーの絶対値が小さい値となるので、レンズ形状の上で有利な良い構成といえる。しかし、2次スペクトル量が容認できない程度に大きくなってしまい、光源の波長半値幅（スペクトル幅）との関係で、実用に耐え得る精度の露光投影は困難である。

【0102】例えば、現在一般的に用いられているKr※

$$\delta f/f \approx 1.10 \cdot \delta \lambda \quad \dots (34) \text{ 式}$$

【0104】Kr-Fエキシマレーザのスペクトル幅 $\delta \lambda$ は、 $\delta \lambda = 1.0 \times 10^{-3} \sim 1.5 \times 10^{-3}$  (nm)であるから、式(34)に代入することによって次の値★

$$\delta f/f \approx (1.1 \sim 1.65) \times 10^{-3} \quad \dots (35) \text{ 式}$$

【0106】即ち、このKr-Fエキシマレーザを光源とする投影光学系では、全系の焦点距離の0.11～0.165%程度が、色収差に起因する光軸方向のボケとなっている。

【0107】これに対して、従来技術の一つである上記石英レンズと回折光学素子からなる投影光学系を、Ar 30-Fエキシマレーザ(193nm)光源に対して使用す☆

$$\delta f/f \approx (1/f) (1/2) (\partial^2 f / \partial \lambda^2) (\delta \lambda / 2)^2$$

… (36) 式

【0109】式(36)の中に、式(33)の値及びAr-Fエキシマレーザのスペクトル幅 $\delta \lambda = 1.0 \times 10^{-3}$  (nm)を代入することによって、次の値(37)が求まる。

【0110】

$$\delta f/f \approx -2.66 \times 10^{-3} \dots (37) \text{ 式}$$

【0111】即ち、この従来のKr-Fエキシマレーザ40投影光学系では、全系の焦点距離の0.266%程度が色収差に起因する光軸方向のボケとなっており、上記現行の場合(式(35))より2倍程度大きいことがわかる。これでは解像度が悪く、実用の投影光学系として用いることは難しい。少なくとも2次スペクトル量を式(37)のおよそ半分( $1.0 \times 10^2$  程度)に抑えることができれば、色収差に起因する光軸方向のボケは、上記現行の場合と同程度になる。

【0112】本実施例の三種の構成要素による色収差補正光学系では、図5の実線で示されている様に、上記2

16

\*ズと回折光学素子のみによる色収差補正光学系は、 $1/f_c = 0$ となる点に対応するものである。このときの石英レンズパワーと回折光学素子のパワーは、 $1/f_c = 0$ の点を通る垂線との交点から読み取ることができ、次の値が得られる。

【0100】

$$= 0.354 \quad \dots (30) \text{ 式}$$

$$= 0.646 \quad \dots (31) \text{ 式}$$

$$= 0 \quad \dots (32) \text{ 式}$$

$$= 2.13 \times 10^2 \quad \dots (33) \text{ 式}$$

※-Fエキシマレーザ(248nm)を光源とする投影露光装置においては、投影光学系は石英レンズのみで構成されており、全系の焦点距離 $f$ が光源のスペクトル幅 $\delta \lambda$ に起因してボケる量 $\delta f$ は、式(10)の微分量と式(18)より求めることができ、次の式(34)のようになる。

【0103】

★(35)が求まる。

【0105】

☆る場合の、全系の焦点距離 $f$ が光源のスペクトル幅 $\delta \lambda$ に起因してボケる量 $\delta f$ について考察する。この場合は、一次の色収差は補正済であるが、前述の様に2次スペクトルが大きく、色収差の原因となっている。この2次スペクトルに起因する焦点距離の光軸方向のボケを求め、上記現行の値(式(35))と比較する。

【0108】

つの従来例を含めた多くの組み合わせが可能である。これら多数の組み合わせのうち、回折光学素子のパワーが、図5中において次の条件式(38)を満たす場合は、従来例と比較してレンズパワー及び2次スペクトルの観点から向上したものとなっている。

【0113】

$$0 < 1/f_0 < 0.354 \dots (38) \text{ 式}$$

【0114】即ち、石英レンズと螢石レンズのみによる色収差補正光学系に比べて、各々のレンズパワーの絶対値が小さく、レンズ形状の制限条件が抑えられるため、有利である。更に、石英レンズと回折光学素子のみによる色収差補正光学系に比べて、2次スペクトル量が大幅に小さく抑えられた組み合わせに相当する。

【0115】上記条件範囲の中で、回折光学素子のパワーを次の値に定めることにより、2次スペクトル量をゼロにすることが可能である。

【0116】

17

$$\begin{aligned}
 1/f_0 &= 0.06 & \cdots (39) \text{式} \\
 1/f_0 &= -1.72 & \cdots (40) \text{式} \\
 1/f_c &= 2.66 & \cdots (41) \text{式} \\
 (-1/f) \cdot (\partial^2 f / \partial \lambda^2) &= 0 & \cdots (42) \text{式}
 \end{aligned}$$

【0117】しかし、実務的には、2次スペクトル量として若干プラス側に値を許容し、石英レンズと螢石レンズのパワーの絶対値を小さくする方が望ましい。特に、本実施例において、前述の様に2次スペクトル量が $1.0 \times 10^2$ 程度のとき、色収差による焦点距離の光軸方向のボケが、現行の露光装置と同程度になることから、\*10

$$0 < 1/f_0 < 0.2$$

【0119】以上は、説明を簡単にするため、薄肉密着系として記述したが、実際のレンズ系は厚肉系であり、しかも、色収差以外の収差の補正のために、各種形状のレンズを複数枚組み合わせる必要がある。この場合にも、本発明に関する原理は適用可能であり、光学系を構成する要素として、回折光学素子と石英レンズと螢石レンズの三種を含んで、光学系に生ずる色収差、特に二次スペクトルを補正することが本発明の主眼である。

【0120】また、レンズのパワーの絶対値を小さくして、レンズの形状上の優位性を確保すると同時に、色収差に係る2次スペクトル量を低減するために、光学系を構成する少なくとも一つの回折光学素子は、正のパワーを有し、少なくとも一つの石英レンズが負のパワーを有し、少なくとも一つの螢石レンズが正のパワーを有する※

$$\begin{aligned}
 n_0 &= 1.508551 & \cdots (44) \text{式} \\
 n_c &= 1.468033 & \cdots (45) \text{式} \\
 \partial n_0 / \partial \lambda &= -0.56079 & \cdots (46) \text{式} \\
 \partial n_c / \partial \lambda &= -0.37347 & \cdots (47) \text{式} \\
 \partial^2 n_0 / \partial \lambda^2 &= 29.740 & \cdots (48) \text{式} \\
 \partial^2 n_c / \partial \lambda^2 &= 19.077 & \cdots (49) \text{式}
 \end{aligned}$$

【0124】上記の諸量を用いて、第1実施例における方法と同様に、本実施例の装置における2次スペクトルを、以下に評価する。図6は、図5と同様に、横軸を回折光学素子のパワーに取り、それに対する石英レンズパワー( $1/f_0$ )と螢石レンズのパワー( $1/f_c$ )を左側の縦軸、2次スペクトル量( $-1/f \cdot (\partial^2 f / \partial \lambda^2)$ )を右側の縦軸にプロットしたものである。ここでは、投影光学系のパワー( $1/f$ )が1になるように正規化した。

【0125】本実施例の図6を、前述の第1実施例の図5と比較すると、2次スペクトル量を表す右側縦軸のスケールが拡大されていることが特徴として挙げられる。つまり、2次スペクトル量の絶対値は、光源の波長が短い本実施例の方が全体的に小さいことがわかる。即ち、二次スペクトルの影響が、波長が長くなったことに伴い少なくなっている。

【0126】上記以外は、ほぼ同一の傾向が認められ、次の効果が認められる。即ち、石英レンズと螢石レンズのみで構成される光学系に比べて、それぞれのレンズパ

18

\*その値のときを2次スペクトルの許容限界と考えることができる。従って、条件式(38)のうち更に望ましいのは回折光学素子のパワーが次の条件式(43)を満たすときである。

【0118】

$$\cdots (43) \text{式}$$

※ことが望ましい。

【0121】次に、第2実施例として、Kr-Fエキシマレーザー( $\lambda = 248 \text{ nm}$ )を光源とする投影露光装置を考える。この場合の投影光学系は、第1実施例と同様に、回折光学素子、石英レンズ、螢石レンズの三種の構成要素からなるものであり、概念説明図は第1実施例の説明に用いた図1と同様である。

【0122】本実施例においては、光源としてKr-Fエキシマレーザーを用いるため、波長 $\lambda = 248 \text{ nm}$ における石英と螢石の屈折率及びそれらの波長微分を、前述の式(18)、式(19)より求めることができ、結果は以下の様になる。

【0123】

ワーの絶対値を小さくすることができるので、レンズ形状上、有利である。また、石英レンズと回折光学素子にて構成される光学系に比べて、2次スペクトル量を小さい値とすることができる。

【0127】なお、以上の実施例並びに作用では、回折光学素子や、石英レンズ並びに螢石レンズのパワーを正負で表現したが、これらは光学素子の少なくとも近軸域においてこの条件を満たすものであれば良い。例えば、非球面レンズや、集光又は発散以外の回折作用を持つ回折格子で合っても、本発明を応用できることはいうまでもない。

【0128】

【発明の効果】以上説明した通り、本発明によれば、投影露光装置の投影光学系として、回折光学素子と、石英レンズと、螢石レンズの三種の構成要素を組み合わせるにより、従来の投影光学系に比べて、2次スペクトルを低減させることができ、色収差の補正が波長帯域で良好に行なわれることとなる。

【0129】このことは、例えば、Ar-Fエキシマレ

19

ーザ（193 nm）等のような波長の短い光源を用いるほど顕著な効果として現れるため、投影光学系の更なる高分解能化の要請に対処するための光源の短波長化の要請に十分に答えることが可能となる。特に、Ar-Fエキシマレーザ（193 nm）を使用する場合に有用である。

【0130】更に、色収差補正が良好に行なわれる上記の構成において、それぞれのレンズパワーの絶対値を小さくすることができる。このように、それぞれのレンズパワーの絶対値を小さく構成しても収差の補正ができることは、レンズ形状上、有利である。即ち、レンズ径（開口径）を大きく設計することができるので、大NA化や大フィールド化を実現することができ、その結果、露光装置としての性能は更に向上することとなる。

【0131】加えて、回折光学素子に適当な正のパワー、石英レンズに適当な負のパワー、螢石レンズに適当な正のパワーを与えることにより、2次スペクトル量をゼロにするという効果を持たせることができる。

【0132】あるいは、実務的観点から、2次スペクトル量にプラス側の許容度を設ければ、石英レンズと螢石

20

レンズのパワーの絶対値を大幅に軽減し、レンズ形状の制約を少なくして設計上の優位性という効果を確保することもできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る投影露光装置の実施例の概念説明図である。

【図2】従来例を示す概念構成図である。

【図3】従来例を示す概念構成図である。

【図4】2次スペクトルを説明する図である。

【図5】光源の波長が $\lambda = 193 \text{ nm}$ の場合に第1実施例の効果を説明するための図である。

【図6】光源の波長が $\lambda = 248 \text{ nm}$ の場合に第2実施例の効果を説明するための図である。

【符号の説明】

101、201、301：フォトマスク

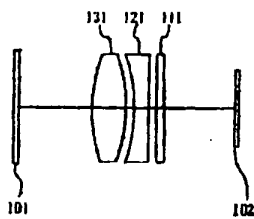
102、202、302：感光性基板

111、313：回折光学素子

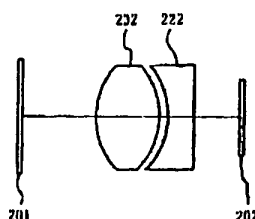
121、222、323：石英レンズ

131、232：螢石レンズ

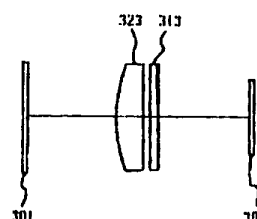
【図1】



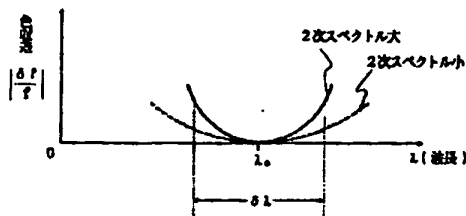
【図2】



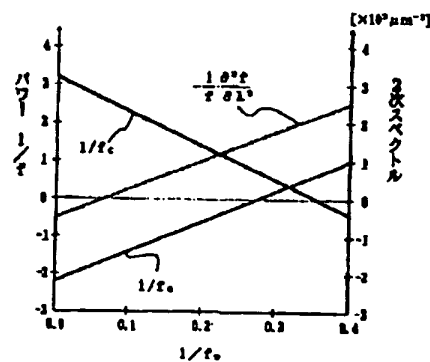
【図3】



【図4】



【図5】



【図6】

